

## 1. Définitions

1. Introduction
2. Transfert thermique
3. Température - Champ de température - Gradient de température
4. Chaleur - Flux thermique - Densité de flux thermique
5. Bilan d'énergie

## 2. Modes de transfert thermique

1. Conduction
2. Convection
3. Rayonnement

## 3. Analogie électrique du transfert thermique

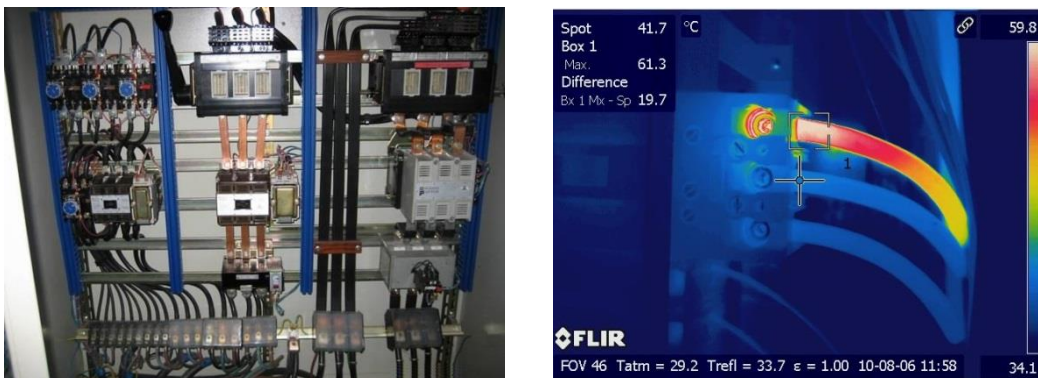
1. Conduction à travers une paroi plane homogène
2. Grandeurs équivalentes
3. Coefficient d'isolation thermique
4. Coefficient d'échange thermique global d'une paroi

## 1. Introduction

Les transferts thermiques font partie des sciences de base de l'ingénieur. Ils jouent un rôle important dans de nombreuses industries et dans le domaine du bâtiment.



Figure 1. Thermique du bâtiment



Figures 2. Armoire électrique

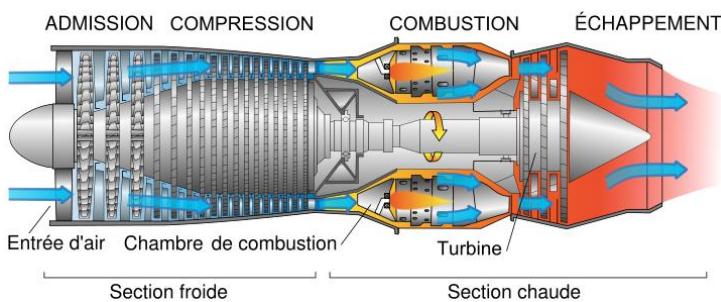
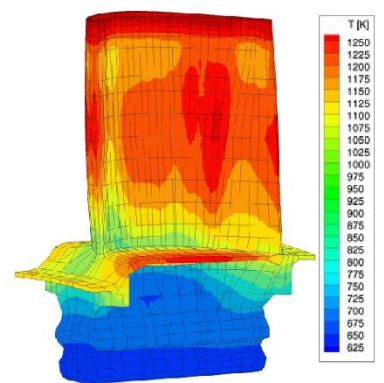


Figure 3. Turboréacteur



Photo



Modélisation thermique

Figures 4. Aube de turbine

## 2. Transfert thermique

Le **transfert thermique** est un échange d'énergie thermique dû à une **différence de température** entre :

- deux parties d'un système,
- un système et son environnement,
- deux systèmes séparés par un milieu matériel ou non (vide).

### 3. Température - Champ de température - Gradient de température

- **Température :**

La **température** d'un système est la manifestation, à l'échelle macroscopique, de l'agitation thermique des particules qui le constituent. Dans le cas des solides, elle est due à la vibration des atomes ou des molécules, ou aux mouvements des électrons pour certains matériaux (les métaux). Pour les fluides, elle est déterminée par l'agitation moléculaire.

La température est une fonction croissante du degré d'agitation thermique des particules.

Pratiquement, elle exprime la qualité de *chaud* ou de *froid* que l'on peut attribuer à un corps quelconque solide, liquide ou gazeux. Quand l'agitation est faible, le corps est froid.

Le zéro absolu (0 K), correspond à une absence totale d'agitation microscopique.

Il existe plusieurs échelles de températures. Dans le but de faciliter la diffusion des informations techniques, on recommande l'utilisation de l'échelle des températures absolues. Mais grâce à la facilité de conversion et par la force de l'habitude, on utilise encore le degré Celsius.

Nom	Symbole	Unité	Remarque
Température absolue	T	kelvin (K)	unité de base du Système International
Température Celsius	$\theta$	degré Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\theta(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$

Tableau 1. Unités de température usuelles

- **Champ de température :**

Les transferts thermiques sont conditionnés par l'évolution dans l'espace et dans le temps de la température :  $T(x, y, z, t)$ .

La valeur instantanée de la température en tout point d'un système est appelé **champ de température**.

En fonction du **nombre de coordonnées spatiales** conditionnant la température, on distingue les **champs de température** :

- **unidimensionnels** dépendant d'**une seule coordonnée spatiale**,
- **bidimensionnels** dépendant de **deux coordonnées spatiales**,
- **tridimensionnels** dépendant de **trois coordonnées spatiales**.

En fonction de la **relation entre la température et le temps**, on différencie **deux cas de figure**.

Lorsque **champ de température** :

- est **indépendant du temps** : on dit que le **régime thermique** est **stationnaire**,
- évolue **avec le temps** : on dit que le **régime thermique** est **instationnaire**.

Une **ligne**, une **surface** ou un **volume isotherme** représente l'ensemble des points d'un système ayant à un instant  $t$  la même température  $T_0$ .

- **Gradient de température :**

Le **gradient de température** est un **champ vectoriel** qui caractérise les **variations spatiales** du **champ scalaire**  $T(x, y, z, t)$ .

$$\vec{\text{grad}}(T) = \begin{pmatrix} \frac{\partial T}{\partial x} \\ \frac{\partial T}{\partial y} \\ \frac{\partial T}{\partial z} \end{pmatrix} \begin{matrix} \frac{\partial T}{\partial x} : \text{dérivée partielle de la température par rapport à } x \text{ (K.m}^{-1} \text{ ou } ^{\circ}\text{C.m}^{-1}) \\ \frac{\partial T}{\partial y} : \text{dérivée partielle de la température par rapport à } y \text{ (K.m}^{-1} \text{ ou } ^{\circ}\text{C.m}^{-1}) \\ \frac{\partial T}{\partial z} : \text{dérivée partielle de la température par rapport à } z \text{ (K.m}^{-1} \text{ ou } ^{\circ}\text{C.m}^{-1}) \end{matrix}$$

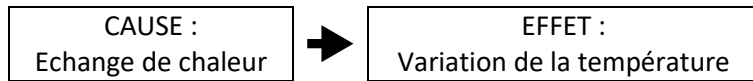
## 4. Chaleur - Flux de chaleur - Densité de flux de chaleur

### • Chaleur :

La **chaleur** est une **énergie qui circule** sous l'effet d'une **différence de température**.

Dans le domaine de la thermique, la chaleur représente une forme d'interaction énergétique entre un système et son milieu extérieur.

- **Hors changement d'état de la matière**, un échange de chaleur entre un système et son environnement s'accompagne d'une modification de la température du système. On peut donc exprimer le lien de cause à effet suivant :



- **Dans le cas d'un changement d'état de la matière**, un échange de chaleur entre un système et son environnement ne provoque pas d'évolution de la température du système.

### • Flux thermique :

Un **flux thermique** (ou **flux de chaleur**), est la quantité de chaleur transmise à travers une surface par unité de temps :

$$\phi = \frac{\delta Q}{dt}$$

$\phi$  flux thermique (W)  
 $\delta Q$  quantité de chaleur traversant la surface S (J)  
 $dt$  intervalle de temps entre les instants t et t+dt (s)

### • Densité de flux thermique :

Une **densité de flux thermique** (ou **flux thermique surfacique**) est la quantité de chaleur transmise à travers une surface par unité de temps et par unité d'aire de la surface :

$$\varphi = \frac{1}{S} \cdot \frac{\delta Q}{dt}$$

$\varphi$  densité de flux thermique ( $W \cdot m^{-2}$ )  
 $S$  aire de la surface ( $m^2$ )  
 $\delta Q$  quantité de chaleur traversant la surface S (J)  
 $dt$  intervalle de temps entre les instants t et t+dt (s)

## 5. Bilan d'énergie

Les **limites** dans l'espace du **système étudié** doivent être définies.

Il faut ensuite identifier les **différents phénomènes thermiques** qui interviennent :

- modes de transfert de chaleur avec l'environnement,
- production ou consommation interne de chaleur,
- stockage ou libération d'énergie.

Une des lois les plus fondamentales de la physique est la conservation de l'énergie.

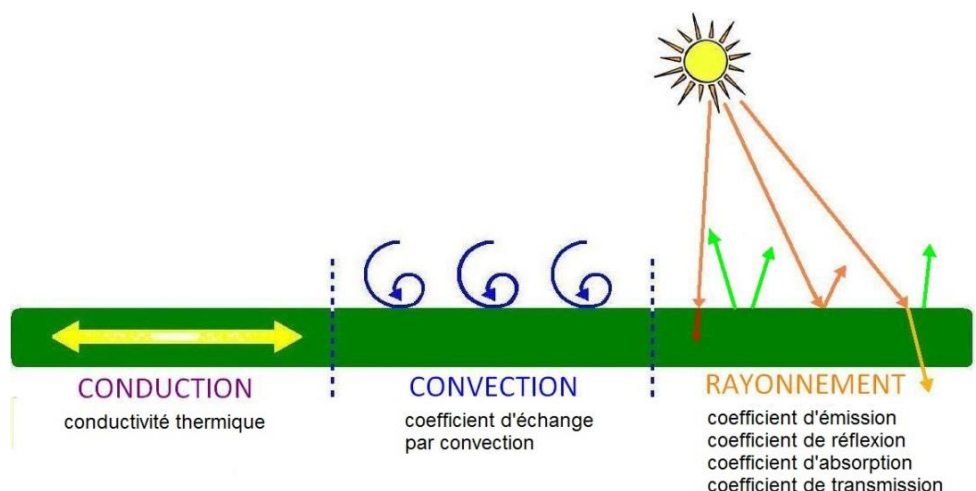
Cette loi permet d'établir le bilan énergétique du système.

## Modes d'échange de chaleur / 2

Il existe trois modes de transfert thermique :

- la conduction,
- la convection,
- le rayonnement.

**Figure 4.** Mécanismes de transfert thermique et paramètres associés



## 1. Conduction

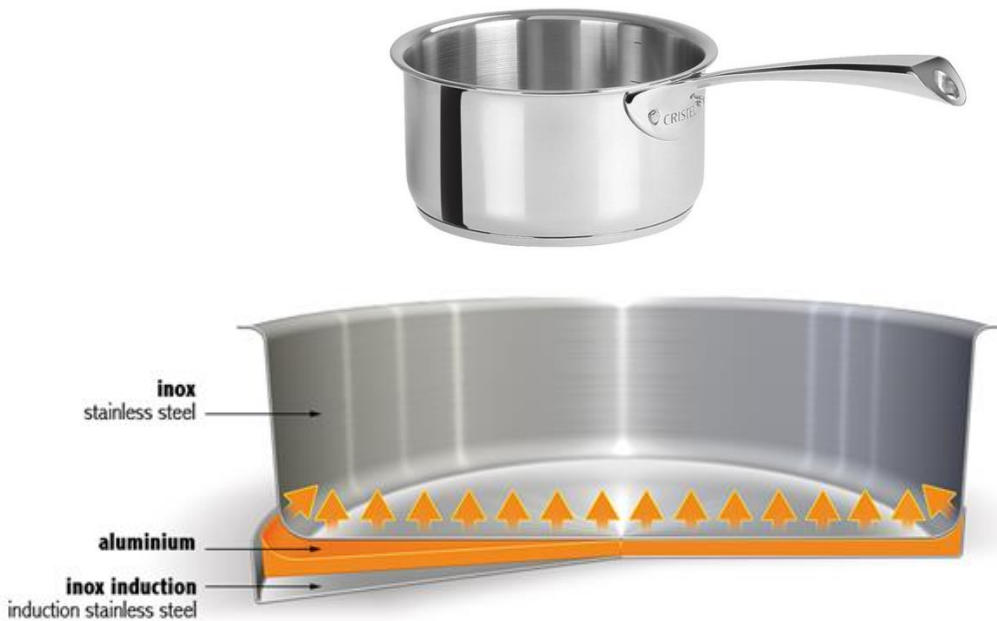
### ★ Qu'est-ce que la conduction ?

La **conduction thermique** (ou diffusion thermique) est un phénomène de propagation d'énergie à l'intérieur d'un système, qui traduit à l'échelle macroscopique, les échanges directs d'énergie, à l'échelle microscopique entre les molécules ou les atomes (ou encore les électrons dans le cas d'un matériau métallique). Nous avons vu que la température d'un corps fluide ou solide est liée à l'agitation des particules qui le constituent, cette agitation thermique augmentant avec la température. Si deux parties d'un système sont à des températures différentes, le mécanisme de conduction peut s'expliquer en disant que les particules qui ont l'agitation thermique la plus grande (température la plus élevée), en communiquent une partie aux particules voisines qui voient en conséquence leur agitation thermique et donc leur température augmenter.

La conduction de la chaleur nécessite un **support matériel** (milieu solide ou fluide) **sans mouvement de matière** (solide ou fluide au repos), elle n'est pas possible dans le vide.

C'est le seul mode d'échange de chaleur qui intervient dans le cas des solides opaques.

Cet échange se produit tant que la température à l'intérieur d'un système n'est pas homogène.



Figures 5. Casserole triple épaisseur (corps inox austénitique 18/10, aluminium et base inox ferritique)

### ★ Comment qualifier et quantifier le transfert thermique par conduction ?

Le flux thermique échangé par conduction est proportionnel :

- à la surface à travers laquelle se produit le transfert,
- au gradient de température.

Il dépend de la **conductivité thermique**  $\lambda$  du milieu considéré.

La théorie de la conduction repose sur la **loi de Fourier** :

$$\vec{\Phi}_{\text{cond}} = -\lambda S \overrightarrow{\text{grad}}(T)$$

$\vec{\Phi}_{\text{cond}}$	vecteur flux thermique transmis par conduction (W)
$\lambda$	conductivité thermique ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )
$S$	aire de surface traversée par le flux de chaleur ( $\text{m}^2$ )
$\overrightarrow{\text{grad}}(T)$	gradient de température ( $\text{K} \cdot \text{m}^{-1}$ ou $^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$ )

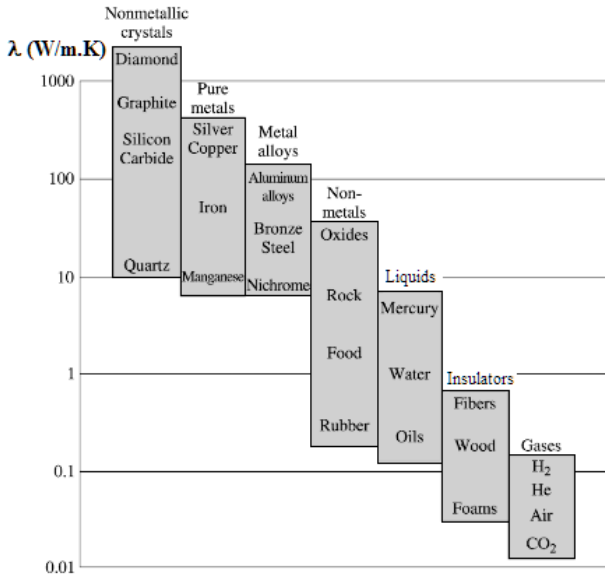
Le flux de chaleur dans la direction  $x$  s'exprime ainsi de la façon suivante :

$$\Phi_{\text{cond}_x} = -\lambda S \frac{\partial T}{\partial x}$$

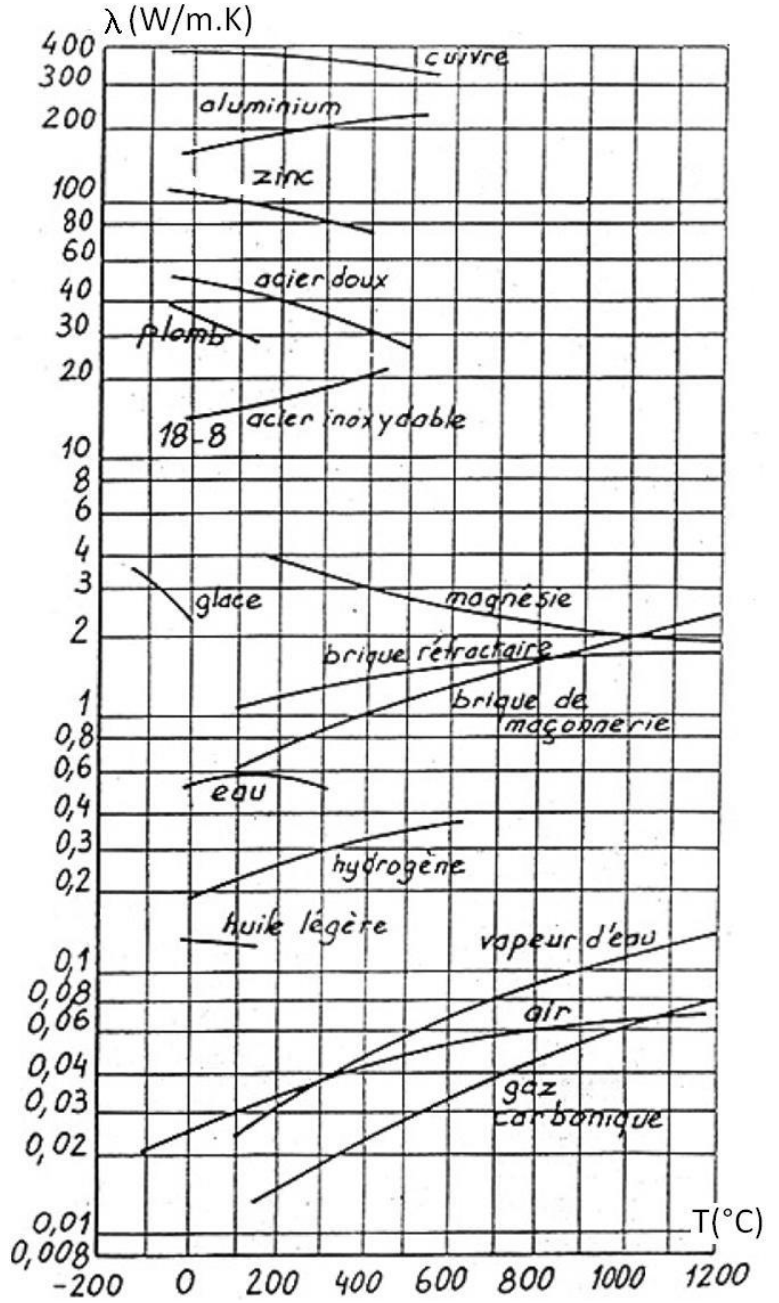
$\Phi_{\text{cond}_x}$	composante du vecteur flux thermique transmis par conduction suivant l'axe $x$ (W)
$\frac{\partial T}{\partial x}$	dérivée partielle de la température par rapport à $x$ ( $\text{K} \cdot \text{m}^{-1}$ ou $^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$ )

Milieu	$\lambda$ [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
Argent	420
Cuivre	380
Aluminium	230
Fer	70
Acier (S275)	55
Acier inoxydable (18%Cr-8%Ni)	25
Mercure	8,2
Grès	2,6
Béton plein	1,75
Verre	1,15
Eau	0,6
Plâtre	0,35
Bois dense (chêne)	0,23
Laine minérale	0,03 - 0,04
Air sec	0,023

**Tableau 2.** Conductivité thermique de différents milieux à température ambiante



**Figure 6.** Ordre de grandeur de la conductivité thermique de différents milieux à température ambiante



**Figure 7.** Conductivité thermique de différents milieux en fonction de la température

## 2. Convection

### ★ Qu'est-ce que la convection ?

Le transfert de chaleur par convection thermique est un mode de transmission de la chaleur qui implique le **déplacement d'un fluide liquide ou gazeux**.

La convection est un échange d'énergie, sous forme de chaleur entre :

- un fluide en mouvement et la surface d'un corps solide ayant une température différente,
- deux zones d'un fluide en mouvement qui ne sont pas à la même température.

La convection se situe à l'intersection entre deux domaines : le transfert de chaleur et la mécanique des fluides.

On distingue deux types de convection :

- la **convection libre** ou **naturelle** lorsque le déplacement du fluide résulte de la variation de masse volumique du milieu avec la température,
- la **convection forcée** lorsque le mouvement du fluide est produit par une action extérieure (pompe, ventilateur, vent...) ; c'est alors une différence de pression qui provoque le déplacement des particules.

### ★ Comment qualifier et quantifier le transfert thermique par convection ?

Le **flux thermique échangé par convection est proportionnel à** :

- la surface à travers laquelle se produit le transfert,
- la différence de température entre le fluide et la paroi.

Il dépend du **coefficient d'échange superficiel par convection h** (encore appelé **coefficient de transfert par convection, coefficient de transmission thermique de surface par convection, coefficient de Newton ou coefficient convectif**).

Le coefficient h n'est pas une propriété physique mais un facteur qui dépend de nombreux paramètres (géométrie de la surface, écoulement du fluide [direction, vitesse], propriétés du fluide, état de surface,...).

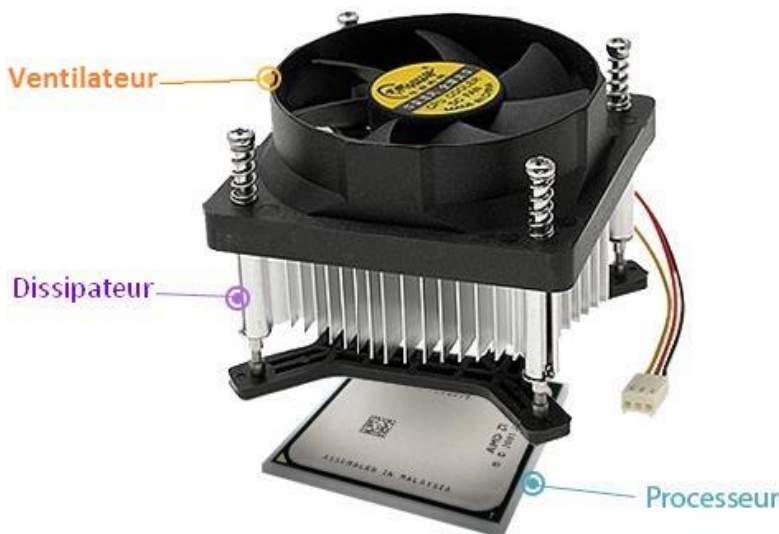
Le transfert de chaleur par convection est régi par la **loi de Newton** :

$$\Phi_{\text{conv}} = h_{\text{conv}} S (T_{\infty} - T_s)$$

$\Phi_{\text{conv}}$  flux thermique transmis par convection (W)  
 $h_{\text{conv}}$  coefficient d'échange superficiel par convection ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ )  
 $T_{\infty}$  température du fluide loin de la surface du solide (K ou °C)  
 $T_s$  température de la surface du solide (K ou °C)  
 $S$  aire de la surface de la paroi ( $\text{m}^2$ )

Fluide	Convection naturelle	Convection forcée
Gaz	5 - 50	10 - 500
Liquide	50 - 1000	100 - 20 000

**Tableau 3.** Ordre de grandeur des coefficients d'échange superficiel par convection  $h_{\text{conv}}$  ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ )



**Figure 8.** Dissipateur et ventilateur pour processeur

### 3. Rayonnement

#### ★ Qu'est-ce que le transfert thermique par rayonnement ?

C'est un transfert d'énergie sous forme de rayonnement thermique entre surfaces séparées par un milieu transparent ou semi-transparent aux rayonnements (le milieu le plus transparent étant le vide).

Les rayonnements thermiques sont des ondes électromagnétiques produites par la matière à partir du moment où sa température est supérieure à 0 K.

Un système échange en permanence de l'énergie sous forme de rayonnement avec son environnement.

Pour un système donné, ce mode de transfert thermique fait intervenir **deux processus à sa surface** :

- l'**émission** de rayonnements,
- l'**absorption** de rayonnements incidents provenant de l'environnement.
- L'**émission** correspond à une **perte d'énergie**.
- L'**absorption** est associée à un **apport d'énergie**.

Contrairement aux échanges par conduction ou convection, qui ont besoin d'un milieu matériel comme support de transfert entre des points à températures différentes, le transfert radiatif **peut avoir lieu dans le vide**.



Figure 9. Braises



Figure 10. Lampes chauffantes infrarouge



Figures 11. Chauffage infrarouge de locaux industriels

#### ★ Comment qualifier et quantifier le transfert thermique par rayonnement ?

La réponse à cette question nécessite un développement important.

Mais nous pouvons déjà dire que le flux de chaleur échangé par rayonnement entre un objet et un autre objet (ou son entourage...) est proportionnel à la **différence de température à la puissance 4** entre la surface de l'objet et celle de l'autre objet (ou celle de son entourage).

★ Nous nous bornerons, dans cette première approche des échanges par rayonnement, à évoquer le cas **d'un petit objet opaque et convexe, entouré d'une paroi de grandes dimensions** (voir figure 12).

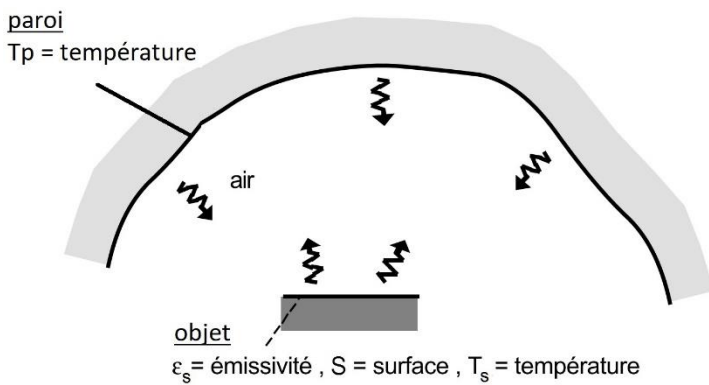
L'espace entre le petit objet et la paroi est composé d'un milieu transparent.

**Le flux thermique échangé par rayonnement entre l'objet et la paroi est proportionnel à :**

- la **surface de l'objet**,
- la **différence de température à la puissance 4** entre celle de la surface de l'objet et celle de la paroi.

Le flux thermique radiatif dépend par ailleurs du **coefficient d'émission  $\epsilon_s$**  (ou **émissivité**) de la surface de l'objet. L'émissivité est fonction de la nature du matériau et de l'état de surface (tableau 5).





**Figure 12.** Echange par rayonnement entre un objet et une paroi qui l'entoure

Nous admettrons que le flux thermique échangé entre l'objet et son environnement peut s'exprimer sous la forme suivante :

- $\Phi_{\text{ray}}$  flux thermique échangé par rayonnement entre l'objet et son environnement (W)  
 $\sigma$  constante de Stefan-Boltzmann =  $5,67 \cdot 10^{-8}$  (W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-4</sup>)  
 $\epsilon_s$  coefficient d'émission de la surface de l'objet ( $0 \leq \epsilon_s \leq 1$ )  
 $S$  aire de la surface de l'objet (m<sup>2</sup>)  
 $T_p$  température des parois environnant la surface de l'objet (K)  
 $T_s$  température de la surface de l'objet (K)

$$\Phi_{\text{ray}} = \epsilon_s \sigma S (T_p^4 - T_s^4)$$

Matériau	Emissivité
aluminium	
• poli	0,09
• anodisé	0,77
acier	
• poli	0,07
• oxydé	0,79
bois naturel	0,90 - 0,95
béton	0,95
verre	0,85

**Tableau 4.** Emissivités de différents matériaux à température ambiante

### ★ Linéarisation du flux thermique échangé par rayonnement

L'expression précédente du flux thermique échangé par rayonnement peut être simplifiée de la façon suivante :

$$\Phi_{\text{ray}} \approx h_{\text{ray}} S (T_p - T_s)$$

- $h_{\text{ray}}$  coefficient d'échange superficiel par rayonnement (W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>)  
 $S$  aire de la surface du solide (m<sup>2</sup>)  
 $T_p$  température de la paroi environnant la surface (°C ou K)  
 (peut être voisine de la température ambiante)  
 $T_s$  température de la surface du solide (°C ou K)

Démonstration :

$$T_p^4 - T_s^4 = (T_p^2 + T_s^2)(T_p^2 - T_s^2) = (T_p^2 + T_s^2)(T_p + T_s)(T_p - T_s)$$

Notons  $T_m$  la température moyenne entre  $T_s$  et  $T_p$  :

$$T_m = \frac{T_s + T_p}{2}$$

S'il y a peu d'écart entre  $T_s$  et  $T_p$ , nous pouvons écrire :

$$T_s \approx T_m \approx T_p$$

Ainsi :

$$(T_p^2 + T_s^2)(T_p + T_s) \approx 2T_m^2 \cdot 2T_m = 4T_m^3$$

D'où :

$$\Phi_{\text{ray}} \approx \epsilon_s \sigma S 4T_m^3 (T_p - T_s)$$

Nous arrivons donc à l'expression :

$$\Phi_{\text{ray}} \approx h_{\text{ray}} S (T_p - T_s) \quad \text{avec} \quad h_{\text{ray}} = \epsilon_s \sigma 4T_m^3$$

Il existe une analogie entre le transfert de chaleur (particulièrement par conduction) et le transfert d'énergie électrique. Cette similitude permet de résoudre certains problèmes de thermique plus facilement.

## 1. Conduction à travers une paroi plane homogène

Considérons le transfert de chaleur par **conduction** en **régime stationnaire**, à travers une **paroi plane homogène** d'épaisseur **e** sans source interne de chaleur.

Supposons que :

- le flux thermique soit unidimensionnel (épaisseur **e** très inférieure aux dimensions latérales de la paroi),
- les températures de surface sont homogènes et égales à **T<sub>1</sub>** et **T<sub>2</sub>**.

En effectuant un bilan thermique pour le système constitué par la tranche de mur comprise entre les abscisses **x** et **x+dx**, on peut écrire :

$$\Phi_x - \Phi_{x+dx} = 0$$

Soit : 
$$\Phi_x = \Phi_{x+dx} = \Phi_{cond} = -\lambda S \left( \frac{dT}{dx} \right)_x = -\lambda S \left( \frac{dT}{dx} \right)_{x+dx}$$

Puisque le flux thermique est constant (on dit que le flux est conservatif), on peut séparer les variables et intégrer :

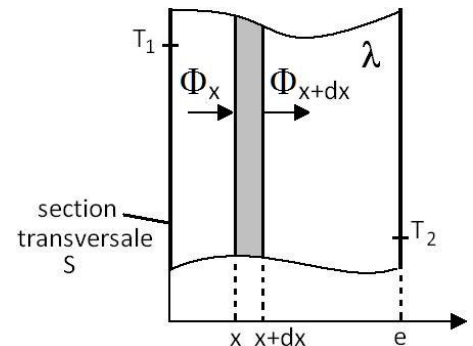
$$\Phi_{cond} \int_0^e dx = -\lambda S \int_{T_1}^{T_2} dT$$

D'où : 
$$\Phi_{cond} \cdot [x]_0^e = -\lambda S [T]_{T_1}^{T_2}$$

Soit : 
$$\Phi_{cond} \cdot e = -\lambda S (T_2 - T_1)$$

Donc : 
$$\Phi_{cond} = \frac{\lambda S (T_1 - T_2)}{e}$$

Ou encore : 
$$\boxed{\Phi_{cond} = \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{e}{\lambda S}}}$$



**Figure 13.** Conduction unidimensionnelle à travers une paroi plane

On remarque que le flux thermique :

- est obtenu en calculant le rapport entre l'écart des températures des surfaces de la paroi et le terme  $\frac{e}{\lambda S}$
- dépend : - de la nature du matériau à travers lequel circule la chaleur,  
- des dimensions de la paroi.

Déterminons maintenant la **répartition de la température à travers la paroi**.

D'après la loi de Fourier :

$$\Phi_{cond_x} = -\lambda S \left( \frac{dT}{dx} \right)_x$$

Le flux thermique étant constant, on peut séparer les variables et intégrer de la façon suivante :

$$\Phi_{cond} \int_0^x dx = -\lambda S \int_{T_1}^T dT \quad \text{d'où} \quad \Phi_{cond} \cdot x = -\lambda S (T - T_1)$$

Soit : 
$$\frac{(T_1 - T_2)}{\frac{e}{\lambda S}} \cdot x = -\lambda S (T - T_1)$$

Finalement : 
$$\boxed{T(x) = T_1 - \frac{(T_1 - T_2)}{e} \cdot x = T_1 + \frac{(T_2 - T_1)}{e} \cdot x}$$

On peut remarquer que l'évolution de la température dans la paroi ne dépend pas de  $\lambda$  donc de la nature de la paroi.

## 2. Grandeurs équivalentes

Dans le cas de la paroi plane étudiée précédemment, nous avons établi qu'en régime stationnaire et en l'absence de source interne de chaleur, le flux qui traverse cette paroi par conduction s'exprime de la façon suivante :

$$\phi_{cond} = \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{e}{\lambda S}}$$

Cette expression peut être rapprochée de la loi d'Ohm en électricité :

$$I = \frac{U}{R_{\text{électrique}}} = \frac{\Delta V}{R_{\text{électrique}}}$$

Par analogie, on écrit le flux de chaleur traversant la paroi sous la forme :

$$\phi_{cond} = \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{e}{\lambda S}} = \frac{(T_1 - T_2)}{R_{\text{thermique}}}$$

Le terme  $\frac{e}{\lambda S}$  correspond à la **résistance thermique de conduction** de la paroi (plane et homogène).

Son inverse est la conductance thermique.

La similitude entre la conduction de l'électricité et la conduction de la chaleur est très marquée.

Le tableau ci-après détaille les analogies entre les deux domaines.

Conduction électrique	Conduction thermique										
Densité de courant : $\vec{j} = -\gamma \overrightarrow{\text{grad}}(V)$ (A.m <sup>-2</sup> )	Densité de flux thermique : $\vec{\phi}_{cond} = -\lambda \overrightarrow{\text{grad}}(T)$ (W.m <sup>-2</sup> ) par conduction										
Potentiel électrique : $V$ (V) → Surface équipotentielle	Température : $T$ (°C ou K) → Surface isotherme										
Circulation d'un courant : → s'il existe une différence de potentiel électrique → dans le sens des potentiels décroissants → ⊥ aux surfaces équipotentielles	Circulation d'un flux de chaleur : → s'il existe une différence de température → dans le sens des températures décroissantes → ⊥ aux surfaces isothermes										
Intensité du courant : $I$ (A) $I = \frac{\delta q}{dt}$ $\delta q$ : charge électrique (C) circulant pendant dt (s)	Flux thermique : $\phi$ (W) $\phi = \frac{\delta Q}{dt}$ $\delta Q$ : quantité de chaleur (J) circulant pendant dt (s)										
Conductivité électrique : $\sigma$ (Ω <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> ) Résistivité électrique : $\rho = 1/\sigma$ (Ω.m) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Conducteur électrique</td> <td><math>10^6 &lt; \sigma</math></td> </tr> <tr> <td>Semi-conducteur</td> <td><math>10^{-6} &lt; \sigma &lt; 10^4</math></td> </tr> <tr> <td>Isolant électrique</td> <td><math>\sigma &lt; 10^{-6}</math></td> </tr> </table>	Conducteur électrique	$10^6 < \sigma$	Semi-conducteur	$10^{-6} < \sigma < 10^4$	Isolant électrique	$\sigma < 10^{-6}$	Conductivité thermique : $\lambda$ (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Conducteur thermique</td> <td><math>10 &lt; \lambda</math></td> </tr> <tr> <td>Isolant thermique</td> <td><math>\lambda &lt; 0,1</math></td> </tr> </table>	Conducteur thermique	$10 < \lambda$	Isolant thermique	$\lambda < 0,1$
Conducteur électrique	$10^6 < \sigma$										
Semi-conducteur	$10^{-6} < \sigma < 10^4$										
Isolant électrique	$\sigma < 10^{-6}$										
Conducteur thermique	$10 < \lambda$										
Isolant thermique	$\lambda < 0,1$										
Loi d'Ohm : $I = \frac{U}{R_{\text{électrique}}} = \frac{\Delta V}{R_{\text{électrique}}}$	En l'absence de source interne de chaleur : $\phi = \frac{\Delta T}{R_{\text{thermique}}}$										
Résistance électrique : (Ω) Ex : $R_{\text{électrique}} = \frac{\rho L}{S} = \frac{L}{\sigma S}$ (fil conducteur de longueur L, de section S)	Résistance thermique : (W <sup>-1</sup> .K) Ex : $R_{\text{thermique cond}} = \frac{e}{\lambda S}$ (paroi plane homogène d'épaisseur e, de section S)										

Tableau 5. Analogie électrique

Les lois d'associations des résistances thermiques sont les mêmes que celles des résistances électriques.

### 3. Coefficient d'isolation thermique

Le coefficient d'isolation thermique **M** est une caractéristique souvent donnée pour les matériaux employés dans le domaine du bâtiment, il correspond à la résistance thermique pour une surface de 1 m<sup>2</sup>.

Il s'exprime en W<sup>-1</sup>.m<sup>2</sup>.K.

La relation entre résistance thermique et coefficient d'isolation thermique de surface est la suivante :

$$R_{th} = \frac{M}{S}$$

### 4. Coefficient d'échange thermique global d'une paroi

Le coefficient d'échange thermique global **U** (ou coefficient de transmission thermique global) d'une paroi est la quantité de chaleur traversant cette paroi en régime stationnaire par :

- unité de temps ;
- unité de surface ;
- unité de différence de température entre les ambiances situées de part et d'autre de la paroi.

On peut exprimer le flux traversant une paroi de la façon suivante :

$$\Phi = U S (T_{amb1} - T_{amb2})$$

- U** coefficient d'échange thermique global (W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>)  
**S** aire de la surface de la paroi (m<sup>2</sup>)  
**T<sub>amb1</sub>** température ambiante d'un côté de la paroi (°C ou K)  
**T<sub>amb2</sub>** température ambiante de l'autre côté de la paroi (°C ou K)

Le coefficient d'échange thermique global est employé par exemple dans les calculs sur les échangeurs de chaleur.

